

Method for permanently determining the coefficient of adhesion of a carriageway

Publication number: DE4435448

Publication date: 1995-04-20

Inventor: WITTE BASTIAN DIPL ING (DE)

Applicant: VOLKSWAGEN AG (DE)

Classification:

- international: **B60T8/172; G01N19/02; B60T8/17; G01N19/02;** (IPC1-7): G01N19/02; B60K28/16; B60T8/32; G01D1/16; G01M17/02; G01P15/00

- european: B60T8/172; G01N19/02

Application number: DE19944435448 19941004

Priority number(s): DE19944435448 19941004; DE19934334888 19931013

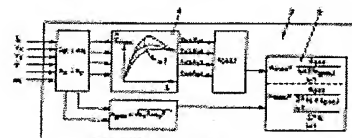
Report a data error here

Abstract of DE4435448

The invention relates to a method for permanently determining the coefficient of adhesion μ_{\max} of a carriageway on which a motor vehicle with tyres is travelling, various operating parameters of the motor vehicle being permanently detected or determined and fed to an electronic evaluation or control system which contains electronic memory and computing units. According to the invention, using the detected or determined operating parameters by means of a stored mathematical tyre model (4) for the individual wheels (1) of the motor vehicle, the respectively present utilisation ($\epsilon_{\text{ges},i}$) of the overall coefficient of adhesion is permanently determined, and at the same time the overall acceleration (a_{ges}) of the vehicle is also permanently determined using these operating parameters. From the determined overall acceleration (a_{ges}) of the vehicle on the one hand, and, from the determined overall utilisation ($\epsilon_{\text{ges},i}$) of the coefficient of adhesion of the individual wheels (1), the respectively present coefficient of adhesion μ_{\max} of the carriageway is then approximately determined either according to or, if the influence of the individual wheels is to be weighted to different degrees depending on the operating situation during the calculation of the coefficient of friction of the carriageway, according to the relation

$$\mu_{\max} = \frac{a_{\text{ges}}}{1/4 \sum_{i=1}^4 \epsilon_{\text{ges},i}}$$

$$\mu_{\max} = \frac{a_{\text{ges}}}{\sum_{i=1}^4 k_i \times \epsilon_{\text{ges},i}}$$



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift ⑩ DE 44 35 448 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 44 35 448.7
㉔ Anmeldetag: 4. 10. 94
㉕ Offenlegungstag: 20. 4. 95

⑥1 Int. Cl.⁶:
G 01 N 19/02
G 01 D 1/16
G 01 P 15/00
G 01 M 17/02
B 60 K 28/16
B 60 T 8/32

DE 44 35 448 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1
13.10.93 DE 43 34 888.2

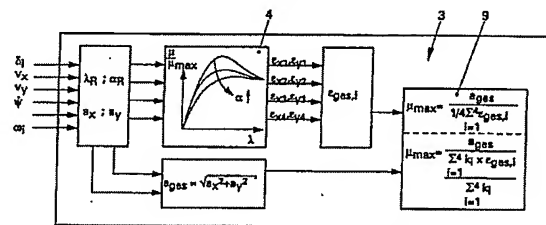
⑦1 Anmelder:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑦2 Erfinder:
Witte, Bastian, Dipl.-Ing., 33649 Bielefeld, DE

⑤4 Verfahren zur permanenten Ermittlung des Fahrbahnreibwerts

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur permanenten Ermittlung des Fahrbahnreibwerts μ_{\max} einer von einem bereiften Kraftfahrzeug befahrenen Fahrbahn, wobei permanent verschiedene Betriebsparameter des Kraftfahrzeugs erfaßt oder ermittelt und einer elektronische Speicher- und Recheneinheiten enthaltenden Auswerte- oder Regelelektronik zugeführt werden.
Erfindungsgemäß wird mit Hilfe der erfaßten oder ermittelten Betriebsparameter mittels eines abgespeicherten mathematischen Reifenmodells (4) für die einzelnen Räder (1) des Kraftfahrzeugs permanent die jeweils vorliegende Gesamthaftwertausnutzung ($\epsilon_{\text{ges},i}$) ermittelt und gleichzeitig mit Hilfe dieser Betriebsparameter permanent auch die Gesamtbeschleunigung (a_{ges}) des Fahrzeugs.
Aus der ermittelten Gesamtbeschleunigung (a_{ges}) des Fahrzeugs einerseits sowie aus der ermittelten Gesamthaftwertausnutzung ($\epsilon_{\text{ges},i}$) der einzelnen Räder (1) wird dann der jeweils vorliegende Fahrbahnreibwert μ_{\max} näherungsweise ermittelt entweder nach Beziehung der

$$\mu_{\max} = \frac{a_{\text{ges}}}{\frac{\sum_{i=1}^4 k_i \times \epsilon_{\text{ges},i}}{\sum_{i=1}^4 k_i}}$$



$$\mu_{\max} = \frac{a_{\text{ges}}}{1/4 \sum_{i=1}^4 \epsilon_{\text{ges},i}}$$

oder wenn bei der Errechnung des Fahrbahnreibwerts der Einfluß der einzelnen Räder je nach Betriebssituation unterschiedlich stark gewichtet werden soll, nach der Beziehung

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 95 508 016/521

10/33

DE 44 35 448 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur permanenten Ermittlung des Fahrbahnreibwerts μ_{\max} einer von einem bereiften Kraftfahrzeug befahrenen Fahrbahn der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 genannten Art.

Verfahren zur Ermittlung des Fahrbahnreibwerts sind in den verschiedensten Varianten direkt und/oder indirekt z. B. aus der DE-39 12 014-A1, DE-40 26 650-A1, DE-40 10 507-C1, DE-37 05 983-A1, DE-38 33 211-A1, DE-35 34 022-A1 und EP-0 470 700-A2 bekannt.

So ist es z. B. bekannt (DE-39 12 014-A1), aus mittels Sensoreinrichtungen erfaßten Betriebsparametern anhand eines abgespeicherten mathematischen Fahrzeugreferenzmodells entweder in Abhängigkeit vom erfaßten Lenkwinkel und von der erfaßten Fahrgeschwindigkeit eine Soll-Gierwinkelgeschwindigkeit zu bestimmen und die Differenz zwischen dieser und der ermittelten tatsächlichen Gierwinkelgeschwindigkeit zu ermitteln oder aber in Abhängigkeit von der erfaßten oder ermittelten Fahrgeschwindigkeit und Gierwinkelgeschwindigkeit einen Soll-Lenkwinkel zu bestimmen und die Differenz zwischen diesem und dem erfaßten tatsächlichen Lenkwinkel zu ermitteln und schließlich mittels einer abgespeicherten Abhängigkeit jeweils denjenigen Wert der ebenfalls ermittelten Fahrzeugquerbeschleunigung als Maß für den Reibwert zwischen Fahrbahn und Fahrzeugreifen bestimmen, bei dem die Gierwinkelgeschwindigkeitsdifferenz bzw. die Lenkwinkeldifferenz stark anzusteigen beginnt.

Andere bekannte Verfahren (z. B. DE-35 34 022-A1) basieren darauf, daß der Bremsdruck mindestens eines Rades kurzzeitig erhöht oder abgesenkt wird, um dann aus den Radreaktionen auf den jeweiligen Fahrbahnreibwert zu schließen; da hierbei jeweils nur die Reaktionen in Längsrichtung erfaßt werden, liefert dieses Verfahren kein zufriedenstellendes Ergebnis mehr, wenn die Fahrzeugräder gleichzeitig auch Seitenkräfte übertragen.

Bei einem anderen Verfahren (z. B. DE-38 33 211-A1) wird der Fahrbahnreibwert sowie die Steigung der bekannten μ/λ (Reibwert/Schlupf)-Kennlinie auf der Basis entweder der erfaßten Radgeschwindigkeit und des erfaßten Bremsdrucks oder aber auf der Basis der erfaßten Radgeschwindigkeit und des erfaßten Motormoments durch Parameterschätzung ermittelt.

Bekannt ist es auch (z. B. DE-40 26 625-A1), den Fahrbahnreibwert dadurch zu ermitteln, daß periodisch wenigstens eines der lenkbaren Räder eingeschlagen und dabei überwacht wird, ob das Rückstellmoment sein Maximum erreicht, daß der Wert des auf die Radaufstandskraft bezogenen Rückstellmoments bei Erreichen des Maximums festgehalten und dann daraus mittels einer elektronisch abgespeicherten Abhängigkeit des Reibwerts vom Rückstellmoment der gerade vorhandene Fahrbahnreibwert ermittelt wird. Vermeintlich unmotiviert periodisch auftretende Lenkeinschläge der Räder können bei diesem Verfahren beim Fahrzeugführer auch dann zu gewissen Irritationen führen, wenn lediglich kleinere Lenkeinschläge vorgenommen werden. Solche Irritationen treten zwar nicht auf, wenn entsprechend einer Verfahrensvariante jeweils beide gelenkten Räder der Achse gleichzeitig gegensinnig eingeschlagen werden, doch erfordert dies einen vergleichsweise hohen Aufwand für den Lenkungsmechanismus des Fahrzeugs.

Bei einem anderen bekannten Verfahren (z. B. DE-37 05 983-A1) werden auf der Basis von durch Sensoreinrichtungen gelieferten Signalen laufend die Fahrzeugbeschleunigung bzw. -verzögerung sowie der Radschlupf der Räder ermittelt und die so gebildete Beschleunigungs- bzw. Verzögerungs/Schlupf-Kennlinie $b_f = f(\lambda)$ mit in einer elektronischen Speichereinrichtung abgespeicherten Schlupfkennlinien für verschiedene besonders typische Fahrbahnzustände verglichen. Aus diesen fest abgespeicherten Kennlinien wird dann die Kennlinie als gerade vorliegend angenommen, die der ermittelten Kennlinie am nächsten kommt, so daß u. a. mit dem Maximum der so ausgewählten Kennlinie der jeweils gerade vorherrschende Fahrbahnreibwert μ_{\max} zumindest annähernd bekannt ist.

Bei einem neueren bekannten Verfahren zur Überwachung des Kraftschlusses zwischen Fahrbahn und Reifen angetriebener Kraftfahrzeugräder (DE-40 10 507-C1) wird der Radschlupf (λ) sowie die gleichzeitig wirksame Radumfangskraft (K) der überwachten angetriebenen Räder während stationärer und quasi stationärer Fahrtriebszustände, d. h. innerhalb des Mikrobereichs des den bekannten μ/s -Kennlinien entsprechenden Radumfangskraft/Radschlupf-Kennlinienfeldes in steter Folge ermittelt, wobei die Ermittlung des Radschlupfes (λ) mit einer im %-Bereich liegenden Genauigkeit erfolgen muß. Aus der Erkenntnis, daß in diesem Mikrobereich des Kennlinienfeldes der Anstieg der Kennlinien verschiedenen Reibwertes entgegen der bis dato herrschenden Meinung der Fachwelt nicht etwa unabhängig vom herrschenden Fahrbahnreibwert μ_{\max} gleichgroß ist, sondern im Gegenteil für jeweils verschiedene Reibwerte verschieden große Kennlinien-Anstiege bestehen, zu denen dann jeweils entsprechend verschieden große Kraftmaxima gehören, wird dann u. a. aus dem Kurvenanstieg der jeweils gerade ermittelten wirksamen Radumfangskraft/Radschlupf-Kennlinie zumindest die Größenordnung des gerade vorliegenden Fahrbahnreibwerts μ_{\max} erkannt bzw. aus diesem Fahrbahnreibwert μ_{\max} und der momentan tatsächlich wirksamen Radumfangskraft die jeweils gerade vorliegende Haftwertausnutzung bzw. das gerade vorhandene Kraftschlußpotential ermittelt.

Im Zusammenhang mit fahrdynamischen Untersuchungen, insbesondere von komplexeren Fragen wie z. B. Untersuchungen des Fahrverhaltens beim Bremsen und/oder Beschleunigen in der Kurve, werden nicht nur Fahrzeugreferenzmodelle, sondern auch damit zusammenarbeitende sogenannten Reifenmodelle eingesetzt.

Reifenmodelle gibt es inzwischen in vielfältigen Varianten in Form rein numerischer Modelle, rein physikalischer Modelle oder als Mischformen von beiden, die jeweils ihre spezifischen Eigenschaften besitzen und dem Anwender so eine große Bandbreite von Möglichkeiten bieten (z. B. "Reifenmodell für die schnelle Berechnung von Kräften und Momenten" von E. Babbel, VDI-Berichte Nr. 650, 1987, Seiten 217 bis 238; Buch "Schwerpunkte der Fahrzeugdynamik" von Bernd Richter, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1990, Seiten 183 bis 195).

Die Reifenmodelle basieren entweder auf physikalischen Gleichungen (z. B. Bewegungsdifferentialgleichungen) und/oder auf durch Meßwerte gelegten Ausgleichskurven. Allen Reifenmodellen gemeinsam ist letztlich, daß in ihnen jeweils u. a. spezifische Kraftschluß- und Reifenparameter, d. h. elementare Reifeneigenschaften

abgespeichert sind und daß sie in Abhängigkeit von eingegebenen Eingangsvariablen, z. B. insbesondere in Abhängigkeit vom Schlupf (λ) und Schräglaufwinkel (α) des Rades, z. B. die jeweils dazugehörigen Seiten- und Umfangskräfte sowie Rückstellmomente des Rades liefern und bei entsprechender Modifikation auch die jeweilige Haftwertausnutzung (ϵ) des Rades in Längs(x)- und Quer(y)-Richtung bzw. auch die Gesamthaftwertausnutzung (ϵ_{ges}) ausweisen.

Die Kenntnis der jeweils vorliegenden Haftwertausnutzung ist für viele Regelverfahren durchaus ausreichend, zumindest hat man sich bisher i. a. mit dieser Kenntnis zufrieden gegeben bzw. sich darauf regelungstechnisch eingestellt.

Generell wäre es aber in vielen Fällen der Fahrzeugregelung von Vorteil, statt dessen oder zusätzlich auch den jeweils konkret vorliegenden Fahrbahnreibwert μ_{max} zu kennen, beispielsweise um bei einem Fahrzeug bei einer ganz konkreten Fahrbahn die Gierwinkelgeschwindigkeit Ψ auf die bei dieser konkreten Fahrbahn maximal mögliche Gierwinkelgeschwindigkeit einzuregeln.

Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung nun die Aufgabe zugrunde, mit geringem regelungstechnischen Aufwand und unter Einsatz nur üblicher preiswerter Sensoreinrichtungen etc. ein Verfahren anzugeben, das mit ausreichender Genauigkeit permanent den jeweils vorherrschenden Fahrbahnreibwert μ_{max} ermittelt, welcher dann mit Vorteil bei diversen bekannten Fahrzeugregelungen eingesetzt werden kann, wie z. B. bei Fahrdynamikregelungen oder bei ABS- und/oder ASR-Regelungen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß wird der jeweils vorliegende Fahrbahnreibwert μ_{max} unter permanenter Ermittlung der jeweiligen Gesamthaftwertausnutzung (ϵ_{ges}) der Räder mittels u. a. eines entsprechend modifizierten abgespeicherten mathematischen Reifenmodells sowie unter gleichzeitiger permanenter Ermittlung der Fahrzeuggesamtbeschleunigung (a_{ges}) permanent näherungsweise ermittelt nach der Beziehung

$$\mu_{\text{max}} = \frac{a_{\text{ges}}}{1/4 \sum_{i=1}^4 \epsilon_{\text{ges}, i}} \quad ,$$

worin i einen Index für die — normalerweise vier — verschiedenen Räder des Fahrzeug bedeutet.

Dieses Verfahren liefert für den jeweils vorherrschenden Fahrbahnreibwert μ_{max} bei normalen Betriebssituationen zuverlässig ausreichend genaue Werte.

Um auch in besonderen Betriebssituationen, wie z. B. bei Kurvenfahrt, beim Bremsen und beim Beschleunigen zuverlässig ausreichend genaue Informationen über den jeweils vorherrschenden Fahrbahnreibwert μ_{max} zu erhalten, kann in vorteilhafter Weise der in diesen Betriebssituationen unterschiedlich große Einfluß der beteiligten Räder bei der Fahrbahnreibwertbestimmung gewichtet werden, indem die Ermittlung des Fahrbahnreibwerts in Weiterbildung der Erfindung nach der Beziehung

$$\mu_{\text{max}} = \frac{a_{\text{ges}}}{\frac{\sum_{i=1}^4 k_i \times \epsilon_{\text{ges}, i}}{\sum_{i=1}^4 k_i}}$$

erfolgt, worin k_i experimentell ermittelte Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des jeweils unterschiedlich großen Einflusses der einzelnen Räder bei Kurvenfahrt und/oder Bremsen bzw. Beschleunigen des Fahrzeugs darstellen.

Diese Korrekturfaktoren könnten — nur beispielhaft — für das Durchfahren einer Linkskurve z. B. für das kurveninnere linke Vorderrad 1,0, für das kurvenäußere rechte Vorderrad 1,3, für das kurveninnere linke Hinterrad 0,7 und für das kurvenäußere rechte Hinterrad 1,0 betragen, weil in einer solchen Betriebssituation der Einfluß der kurvenäußeren Räder jeweils größer ist als der der kurveninneren Räder und der Einfluß der Vorderräder jeweils größer als der der Hinterräder.

Beim Durchfahren einer Rechtskurve käme es entsprechend zu einer stärkeren Wichtung der kurvenäußeren linken Räder und einer schwächeren Wichtung der kurveninneren rechten Fahrzeugräder.

In entsprechender Weise können experimentell entsprechende Korrekturfaktoren für das Bremsen oder Beschleunigen bei Geradeausfahrt und/oder bei Kurvenfahrt ermittelt und abgespeichert werden.

Bei der Ermittlung des jeweils vorherrschenden Fahrbahnreibwerts wird dann von der das Reifenmodell umfassenden Auswertelektronik aufgrund entsprechender Sensorsignale selbsttätig auf die für die jeweilige Betriebssituation maßgeblichen Korrekturfaktoren k_i zurückgegriffen.

Das erfindungsgemäße Verfahren basiert u. a. auf der Erkenntnis, daß bei normierter Betrachtung/Verwendung der üblichen μ/λ -Kennlinien, d. h. bei auf das jeweilige μ_{max} bezogenen μ/λ -Kennlinien, die jeweiligen Maxima dieser "normierten Kennlinien" für die verschiedensten Reifen-Fahrbahnpaarungen jeweils in etwa beim selben Reifenschlupf λ_0 liegen, zumindest aber innerhalb eines nur schmalen Schlupfbereiches $\Delta\lambda$.

Wenn daher bei der permanenten Ermittlung des jeweils vorherrschenden Fahrbahnreibwerts in der Praxis in

einem Reifenmodell für alle üblichen Reifen/Fahrbahnpaarungen nur eine gemeinsame $\mu/\mu_{\max}(\lambda)$ -Kennlinie verwendet wird (auf der dann die vom Reifenmodell in den verschiedenen Betriebssituationen gelieferten Haftwertausnutzungen basieren), dann treten bei der Auswertung bzw. bei der Ermittlung des konkret vorliegenden Fahrbahnreibwerts jeweils allenfalls vernachlässigbar kleine Fehler auf, sofern sich das Geschehen jeweils im oberen stabilen (d. h. oberen linken) Kennlinienbereich bzw. im Bereich des Kennlinien-Maximums der normierten μ/λ -Kennlinie abspielt. Das ist aber gerade der Bereich, in dem die meisten Fahrzeugregelungen durchgeführt werden.

Anhand einiger zeichnerischer Prinzipdarstellungen sei die Erfindung nachstehend näher erläutert.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur permanenten Ermittlung des Fahrbahnreibwerts μ_{\max} einer von einem bereiften Kraftfahrzeug befahrenen Fahrbahn werden verschiedene Betriebsparameter des Kraftfahrzeugs permanent erfaßt oder ermittelt und einer elektronische Speicher- und Recheneinheiten enthaltenden Auswerte- oder Regelelektronik zugeführt, die in Fig. 1 prinzipienhaft angedeutet und mit 3 beziffert ist.

Erfaßt werden insbesondere solche Betriebsparameter des Fahrzeugs, die direkt oder indirekt zur Ermittlung z. B. des Schlupfes λ und des Reifenschräglaufwinkels α der Räder 1 sowie zur Ermittlung der Fahrzeuggesamtbeschleunigung a_{ges} erforderlich sind.

Vorzugsweise werden z. B., wie in Fig. 2 angedeutet, mittels z. B. für ABS-Regeleinrichtungen üblicher Rad-sensoren 2 die Drehzahlen bzw. die Winkelgeschwindigkeiten ω_i erfaßt, aus denen z. B. in bekannter Weise nicht nur der Schlupf λ der einzelnen Räder 1 sowie erforderlichenfalls auch die Längsgeschwindigkeit v_x des Fahrzeugs errechnet werden können, sondern mit deren Hilfe u. a. auch die Gierwinkelgeschwindigkeit $\dot{\Psi}$ u. v. a. m. errechnet werden könnte.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist angenommen, daß mittels geeigneter Sensoreinrichtungen neben den Winkelgeschwindigkeiten ω_i der Räder 1 auch die Betriebsparameter Lenkradwinkel δ_l , Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v_x , Fahrzeugquergeschwindigkeit v_y sowie Gierwinkelgeschwindigkeit $\dot{\Psi}$ erfaßt werden und der Auswerte- und Regelelektronik 3 als variable Eingangsgrößen zugeführt werden. In Fig. 2 ist schematisch mit 6 z. B. ein Sensor zur Erfassung des Lenkradwinkels δ_l des Lenkrades 5, mit 7 ein Sensor zur Erfassung der Gierwinkelgeschwindigkeit und mit 8 ein Sensor zur Erfassung der Quergeschwindigkeit angedeutet.

Zur Erfassung der Gierwinkelgeschwindigkeit könnten beispielsweise Kreisel und Verfahren, die auf Auswertung der Coriolis-Kraft basieren, Verwendung finden. Die Gierwinkelgeschwindigkeit kann aber in einfacher und bekannter Weise auch aus dem Drehzahlunterschied der Räder einer möglichst nicht angetriebenen Achse berechnet werden, z. B. nach der Formel

$$\dot{\Psi} = \frac{\omega_2 R_2 - \omega_1 R_1}{s_v \cos \delta_v},$$

oder nach der Formel

$$\dot{\Psi} = \frac{\omega_4 R_4 - \omega_3 R_3}{s_h},$$

worin $\omega_{1,2,3,4}$ die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Vorderräder sowie der beiden Hinterräder, $R_{1,2,3,4}$ die Radradien der vier Räder, $s_{v,h}$ die Spurweite der Vorder- sowie der Hinterachse und δ_v den dem Lenkradwinkel δ_l proportionalen Radwinkel der eingeschlagenen Vorderräder darstellt. Die Erfassung der Quergeschwindigkeit v_y könnte beispielsweise mit Hilfe bekannter korrelationsoptischer Verfahren oder Radar-Doppler-Verfahren erfolgen, die bei Serieneinsatz durchaus kostengünstig produzierbar wären. Alternativ zur Quergeschwindigkeit v_y könnte aber auch in bekannter Weise die Querbeschleunigung a_y erfaßt werden.

Aus den ihr zugeführten variablen Eingangsgrößen werden in der Auswerte- und Regelelektronik 3 mittels bekannter elektronischer Recheneinheiten mit den allseits bekannten Gleichungen zum einen für jedes Rad der Schlupf λ_R und andererseits näherungsweise für jedes Rad der Schräglaufwinkel α_R berechnet. Der Schräglaufwinkel ergibt sich unter der Annahme, daß die Quergeschwindigkeit v_y z. B. direkt auf der Verbindungslinie der beiden Hinterräder gemessen wird für die beiden Vorderräder ungefähr zu

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{v_y + l_x \dot{\Psi}_1}{v_x} \right) - \alpha_{\text{Vorspur, vorne}} + \delta_v$$

sowie

$$\alpha_2 = \arctan \left(\frac{v_y + l_x \dot{\Psi}_1}{v_x} \right) + \alpha_{\text{Vorspur, vorne}} + \delta_v$$

und für die Hinterräder ungefähr zu

$$\alpha_3 = \arctan \left(\frac{v_y}{v_x} \right) - \alpha \text{ Vorspur, hinten}$$

5

sowie

$$\alpha_4 = \arctan \left(\frac{v_y}{v_x} \right) + \alpha \text{ Vorspur, hinten}$$

10

Hierin bedeuten u. a.
l den Radstand,

15

$\alpha_{\text{Vorspur, vorne}}$ den Vorspurwinkel der Vorderräder,

$\alpha_{\text{Vorspur, hinten}}$ den Vorspurwinkel der Hinterräder und

δ_v den Radwinkel der eingeschlagenen Räder, der dem durch die Lenkübersetzung dividierten Lenkradwinkel δ_l entspricht.

20

Diese für die einzelnen Räder aus den erfaßten variablen Betriebsparametern ermittelten Schlupf- und Schräglaufwinkel λ_R und α_R werden wie in Fig. 1 angedeutet als Eingangssignale dem in der Auswerte- und Regelelektronik 3 abgespeicherten mathematischen Reifenmodell 4 zugeführt, das dann mit ihnen auf der Basis der dort abgespeicherten Kraftschluß- und Reifenparameter für jedes der Räder 1 z. B. die gerade vorliegende Haftwertausnutzung ε_x in Fahrzeuginnenrichtung und die Haftwertausnutzung ε_y in Fahrzeugquerrichtung liefert, woraus sich dann die jeweilige Gesamthaftwertausnutzung

25

$$\varepsilon_{\text{ges}} = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2}$$

30

ergibt. Ob die jeweilige Gesamthaftwertausnutzung ε_{ges} nun unmittelbar vom eigentlichen Reifenmodell geliefert wird oder erst, wie in Fig. 1 angedeutet, in einer nachgeschalteten Recheneinheit aus den vom eigentlichen Reifenmodell gelieferten Einzelkomponenten ε_x und ε_y errechnet wird, ist ohne Belang.

35

Parallel zur Ermittlung der jeweiligen Gesamthaftwertausnutzung wird in der Auswerte- und Regelelektronik 3, wie in Fig. 1 schematisch angedeutet, aus den der Auswerte- und Regelelektronik zugeführten variablen Eingangssignalen die jeweils vorherrschende Gesamtbeschleunigung a_{ges} des Fahrzeugs ermittelt, z. B. als geometrische Summe aus der Fahrzeuginnenbeschleunigung a_x und der Fahrzeugquerbeschleunigung a_y . Längs- und Querbeschleunigung können hierbei entweder durch bekannte Sensoreinrichtungen unmittelbar erfaßt werden oder aber in bekannter Weise aus anderen zur Verfügung stehenden aktuellen Betriebsparametern abgeleitet werden.

40

So kann beispielsweise die Längsbeschleunigung a_x in einfacher Weise durch Differentiation und eventuelle Glättung aus der Fahrzeuginnen Geschwindigkeit bzw. Referenzgeschwindigkeit v_x einer ABS-Einrichtung berechnet werden oder aber z. B. aus den von den Radsensoren 2 gelieferten Raddrehzahlensignalen.

45

In entsprechender Weise könnte die Fahrzeugquerbeschleunigung ebenfalls in bekannter Weise aus den von den Radsensoren 2 gelieferten Sensorsignalen errechnet werden nach der Beziehung

$$a_y = \frac{\omega_2^2 R_2^2 - \omega_1^2 R_1^2}{s_v \cos \delta_v}$$

50

oder

$$a_y = \frac{\omega_4^2 R_4^2 - \omega_3^2 R_3^2}{s_h}$$

55

60

worin wiederum $\omega_{1,2,3,4}$ die Winkelgeschwindigkeiten und $R_{1,2,3,4}$ die Radradien der Räder 1, s_v , s_h die Spurweite der Vorder- bzw. der Hinterachse und δ_v den dem Lenkradwinkel δ_l proportionalen Radeinschlagwinkel der gelenkten Vorderräder bedeuten.

Mit der in dieser Weise ermittelten Gesamtbeschleunigung des Fahrzeugs

65

$$a_{ges} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

- 5 sowie mit den in vorerwählter Weise ermittelten Gesamthaftwertausnutzungen $\varepsilon_{ges,i}$ der Fahrzeugräder 1 wird dann in der Auswerte- und Regelelektronik 3 in einem weiteren Rechenschritt als Quotient aus der Fahrzeuggesamtbeschleunigung und der gemittelten Gesamthaftwertausnutzung $\varepsilon_{ges,i}$ der einzelnen Räder der gerade vorliegende Fahrbahnreibwert ermittelt entweder nach der Beziehung

$$10 \quad \mu_{max} = \frac{a_{ges}}{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \varepsilon_{ges,i}}$$

- 15 oder aber nach der Beziehung

$$20 \quad \mu_{max} = \frac{a_{ges}}{\frac{\sum_{i=1}^4 k_i \times \varepsilon_{ges,i}}{\sum_{i=1}^4 k_i}}$$

25

Bei der ersten Beziehung ist angenommen, daß die einzelnen Fahrzeugräder 1 jeweils gleichgroße Beiträge zum Gesamtgeschehen leisten. Damit wird der jeweils vorliegende Fahrbahnreibwert μ_{max} mit einer für manche Regelungsverfahren durchaus ausreichenden Genauigkeit ermittelt.

- 30 Bei komplexeren Vorgängen, wie z. B. bei Kurvenfahrten, beim Bremsen und/oder beim Beschleunigen ist der Einfluß der verschiedenen Räder jedoch spürbar unterschiedlich. Mit Einsatz einer nach der zweiten Beziehung arbeitenden Recheneinheit wird dieser unterschiedlich große Einfluß der beteiligten Räder bei der Bestimmung des Fahrbahnreibwertes μ_{max} berücksichtigt, was einerseits entsprechend komplexere Recheneinheiten erfordert und andererseits zusätzliche Sensorsignale voraussetzt, um den Recheneinheiten die jeweils gerade vorliegende spezielle Betriebssituation z. B. Kurvenfahrt, Bremsen und/oder Beschleunigen, zu signalisieren.

- 35 Wie zuvor bereits erwähnt wurde, stellen in der zweiten Beziehung k_i Korrekturfaktoren für den unterschiedlich großen Einfluß der einzelnen Räder in den verschiedenen Betriebssituationen dar, wobei in den einzelnen Betriebssituationen natürlich jeweils unterschiedliche Korrekturfaktoren relevant sind, weshalb der Recheneinheit u. a. auch signalisiert werden muß, welche Betriebssituation vorliegt, damit sie aus den abgespeicherten Daten die für die jeweilige Betriebssituation richtigen Korrekturfaktoren auswählt.

- 40 In Fig. 2 sind nur sehr symbolisch und rein exemplarisch eine Reihe von Sensoreinrichtungen zur permanenten Erfassung einiger variabler Betriebsparameter angedeutet, z. B. Radsensoren 2, ein Lenkradwinkelsensor 6, ein Gierwinkelgeschwindigkeitssensor 7 sowie ein Fahrzeugquergeschwindigkeitssensor 8. Je nach Bedarf und Zweckmäßigkeit können jedoch auch andere oder zusätzliche Sensoreinrichtungen eingesetzt werden, wobei im Regelfall angestrebt werden dürfte, mit möglichst wenig Sensoreinrichtungen auszukommen und für die Regelverfahren benötigte weitere Betriebsparameter im Bedarfsfall aus den erfaßten Betriebsparametern zumindest annähernd zu berechnen.

In den Fig. 3 und 4 sind zwecks Vertiefung des Verständnisses der Erfindung rein beispielhaft einige Reibwert/Schlupf-Kennlinien dargestellt.

- 50 Fig. 3 zeigt ein übliches μ/λ -Kennlinienfeld, wobei die obere Kennlinie b beispielsweise die Kennlinie für eine Reifen/Fahrbahn-Paarung mit z. B. trockener Asphaltfahrbahn, die mittlere Kennlinie c die Kennlinie für dieselbe Reifen/Fahrbahn-Paarung, jedoch bei z. B. nasser Fahrbahn und die Kennlinie d die Kennlinie derselben Reifen/Fahrbahn-Paarung, jedoch bei vereister Fahrbahn bedeuten sollen. Man erkennt, daß der prinzipielle Verlauf dieser Kennlinien bei allen Fahrbahnbeschaffenheiten in etwa erhalten bleibt, lediglich das Niveau der

- 55 Kennlinien verändert sich abhängig von der jeweiligen Fahrbahnbeschaffenheit, d. h. ob diese trocken, naß oder vereist ist. Sehr ähnliche, jedoch in der Höhe etwas abweichende Kennlinien ergäben sich für andere Reifen/Fahrbahn-Paarungen.

- Bei normierter, d. h. auf den jeweiligen Maximalwert der Kennlinien bezogener Darstellung zeigt sich, wie in Fig. 4 rein exemplarisch angedeutet, daß die Maxima der verschiedenen normierten Kennlinien b' , c' , d' alle innerhalb eines relativ kleinen Schlupfbereichs $\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda^*_0$ liegen.

- 60 Diese Gegebenheit wird letztlich beim erfindungsgemäßen Verfahren ausgenutzt. Es ist leicht nachvollziehbar, daß deshalb bei Kenntnis des jeweiligen Radschlupfes λ mit Hilfe nur eines im Reifenmodell 4 abgespeicherten Kennlinienfeldes völlig unabhängig davon, ob eine trockene, nasse oder vereiste Asphalt-, Beton- oder andere Fahrbahn vorliegt, mit ausreichender Genauigkeit eine Information über die jeweils gerade vorliegende

- 65 Haftwertausnutzung liefert.

Auf der Basis einer normierten Kennlinie nach z. B. a' , b' der Fig. 4 würde z. B. beim Auftreten eines Schlupfes λ_0 mit

$$\frac{\mu_x}{\mu_{\max}} = 1,0$$

z. B. in Längsrichtung des Fahrzeug eine Haftwertausnutzung $\varepsilon_x = 100\%$ vorliegen und bei einem ermittelten Schlupf λ_1 entsprechend eine Haftwertausnutzung $\varepsilon_x = 0,5$, d. h. eine Haftwertausnutzung von 50%. 5

In entsprechender Weise wird vom Reifenmodell 4 auch für die Fahrzeugquerrichtung die entsprechende Haftwertausnutzung ε_y der Fahrzeugräder ermittelt und daraus dann für die einzelnen Räder jeweils die Gesamthaftwertausnutzung 10

$$\varepsilon_{\text{ges},i} = \sqrt{\varepsilon_{x,i}^2 + \varepsilon_{y,i}^2},$$

wie dies in Fig. 1 schematisch angedeutet ist. 15

Mit Kenntnis der jeweils gerade vorliegenden Gesamthaftwertausnutzung der einzelnen Fahrzeugräder einerseits und der jeweiligen Fahrzeuggesamtbeschleunigung a_{ges} andererseits kann in einfacher Weise permanent der jeweils gerade vorliegende Fahrbahnreibwert μ_{\max} bestimmt werden, wobei je nach dem, ob bei der Erstellung der Auswerte- und Regelelektronik 3 im mit 9 bezifferten Rechenbaustein die einfachere obere oder die etwas aufwendigere untere Rechenregel implantiert, wurde der Einfluß aller vier Fahrzeugräder 2 gleich stark oder aber entsprechend der jeweiligen Betriebssituation unterschiedlich stark gewichtet wird. Ob bei der Erstellung der Auswerte- und Regelelektronik 3 im Einzelfall die einfachere oder die etwas aufwendigere Rechenregel ausgewählt wird, hängt letztlich davon ab, für welche Regelzwecke der mit der Auswerte- und Regelelektronik ermittelte Fahrbahnreibwert μ_{\max} eingesetzt werden soll. 20 25

Wenn dieser permanent ermittelte Fahrbahnreibwert μ_{\max} z. B. bei einer Fahrzeugregelung eingesetzt werden soll, um die Gierwinkelgeschwindigkeit $\dot{\Psi}$ eines Fahrzeugs auf die bei der jeweils konkret vorliegenden Fahrbahn maximal mögliche Gierwinkelgeschwindigkeit einzuregeln, dann wird es unumgänglich sein, auf die etwas aufwendigere zweite Rechenregel zurückzugreifen, weil der Einfluß der vier Fahrzeugräder in einer solchen Betriebssituation sehr unterschiedlich groß ist. 30

In einigen anderen Fällen kann es dagegen durchaus ausreichen, den Fahrbahnreibwert mittels der einfacheren Rechenregel zu bestimmen.

In beiden Fällen steht aber mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein vergleichsweise wenige übliche Sensoreinrichtungen benötigendes Verfahren zur Verfügung, durch das der jeweilige Fahrbahnreibwert mit regelungstechnisch vergleichsweise geringem Aufwand sehr zuverlässig bestimmt werden kann. 35

In vorteilhafter Weise kann auch eine automatische Parameteränderung des Reifenmodells 4 vorgenommen werden, wenn durch die Regelelektronik 3 bestimmte Fahrbahnreibwerte erkannt werden. Wird z. B. ein niedriger Reibwert erkannt, dann kann automatisch auf einen Parametersatz für Schnee umgeschaltet werden. 40

Bezugszeichenliste

1 Räder	
2 Radsensoren	
3 Auswerte- und Regelelektronik	45
4 Reifenmodell	
5 Lenkrad	
6 Lenkradwinkelsensor	
7 Gierwinkelgeschwindigkeitssensor	
8 Fahrzeugquergeschwindigkeitssensor	50
9 Recheneinheit	
a, a'; b, b'; c, c' verschiedene Kennlinien	
$a_{x,y}$ Fahrzeuglängs- und -querbeschleunigung	
a_{ges} Fahrzeuggesamtbeschleunigung	
i Index für die Räder	55
k_i Korrekturfaktor	
l Radstand	
R_i Radradien	
$s_{v,h}$ Spurweite vorn/hinten	
$v_{x,y}$ Fahrzeuglängs- und -quergeschwindigkeit	60
α Schräglaufwinkel der Räder	
α_{vorspur} Vorspurwinkel	
δ_l Lenkradwinkel	
δ_v Radwinkel der eingeschlagenen (Vorder)räder	
$\varepsilon_{x,y}$ Haftwertausnutzung der Räder in Längs- und Querrichtung	65
ε_{ges} Haftwertgesamttausnutzung	
$\lambda, (s)$ Schlupf der Räder	
λ_0, λ^*_0 Zum jeweiligen Kennlinienmaximum gehörige Schlupfwerte	

$\Delta\lambda$ Schlupfbereich

μ_{xy} schlupf- bzw. schräglaufwinkelabhängiger Reibungskoeffizient in Längs- bzw. Querrichtung

μ_{\max} Fahrbahnreibwert

Ψ Gierwinkelgeschwindigkeit

5 ω Winkelgeschwindigkeit der Räder.

Patentansprüche

1. Verfahren zur permanenten Ermittlung des Fahrbahnreibwerts (μ_{\max}) einer von einem bereiften Kraftfahrzeug befahrenen Fahrbahn, wobei permanent verschiedene Betriebsparameter des Kraftfahrzeugs erfaßt oder ermittelt und einer elektronische Speicher- und Recheneinheiten enthaltenden Auswerte- oder Regelelektronik (3) zugeführt werden, **gekennzeichnet durch** folgende z. T. für sich bekannte Merkmale:
- a) Mit Hilfe der erfaßten oder ermittelten Betriebsparameter wird mittels eines abgespeicherten mathematischen Reifenmodells (4) für die Räder (1) des Kraftfahrzeugs permanent die jeweils vorliegende Gesamthaftwertausnutzung ($\epsilon_{\text{ges},i}$) ermittelt.
- b) Gleichzeitig wird mit Hilfe dieser Betriebsparameter permanent die Gesamtbeschleunigung (a_{ges}) des Fahrzeugs ermittelt.
- c) Aus der ermittelten Gesamtbeschleunigung (a_{ges}) des Fahrzeugs sowie aus der ermittelten Gesamthaftwertausnutzung ($\epsilon_{\text{ges},i}$) der einzelnen Räder (1) wird der jeweils vorliegende Fahrbahnreibwert (μ_{\max}) näherungsweise ermittelt nach der Beziehung

$$\mu_{\max} = \frac{a_{\text{ges}}}{1/4 \sum_{i=1}^4 \epsilon_{\text{ges},i}} \quad .$$

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Errechnung des Fahrbahnreibwerts (μ_{\max}) der Einfluß der Gesamthaftwertausnutzung ($\epsilon_{\text{ges},i}$) der einzelnen Räder (1) je nach Betriebssituation unterschiedlich stark gewichtet wird, indem dieser nach der Beziehung

$$\mu_{\max} = \frac{a_{\text{ges}}}{\frac{\sum_{i=1}^4 k_i \times \epsilon_{\text{ges},i}}{\sum_{i=1}^4 k_i}} \quad .$$

ermittelt wird, worin k_i einen für die unterschiedlichen Betriebssituationen, wie z. B. Kurvenfahrt, Bremsen und Beschleunigen unterschiedlich großen Korrekturfaktor für den Reifeneinfluß der einzelnen Räder (1) darstellt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Einfluß der Gesamthaftwertausnutzung ($\epsilon_{\text{ges},i}$) der jeweils kurvenäußeren Räder stärker gewichtet wird als der der kurveninneren Räder.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest beim Bremsen der Einfluß der Gesamthaftwertausnutzung ($\epsilon_{\text{ges},i}$) der vorderen Räder jeweils stärker gewichtet wird als der der hinteren Räder.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei Erkennung bestimmter Fahrbahnreibwerte die Parameter des Reifenmodells (4) selbsttätig derart geändert werden, daß der Verlauf der

$$\frac{\mu_x}{\mu_{\max}} / \lambda - \text{ bzw. } \frac{\mu_y}{\mu_{\max}} / \alpha - \text{Kurven}$$

den typischen Verläufen bei diesem Reibwert entspricht.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

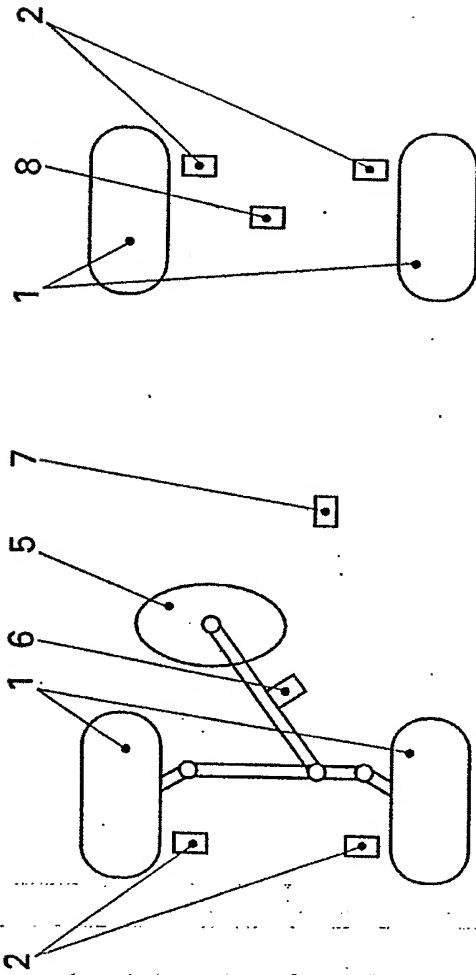


FIG 2

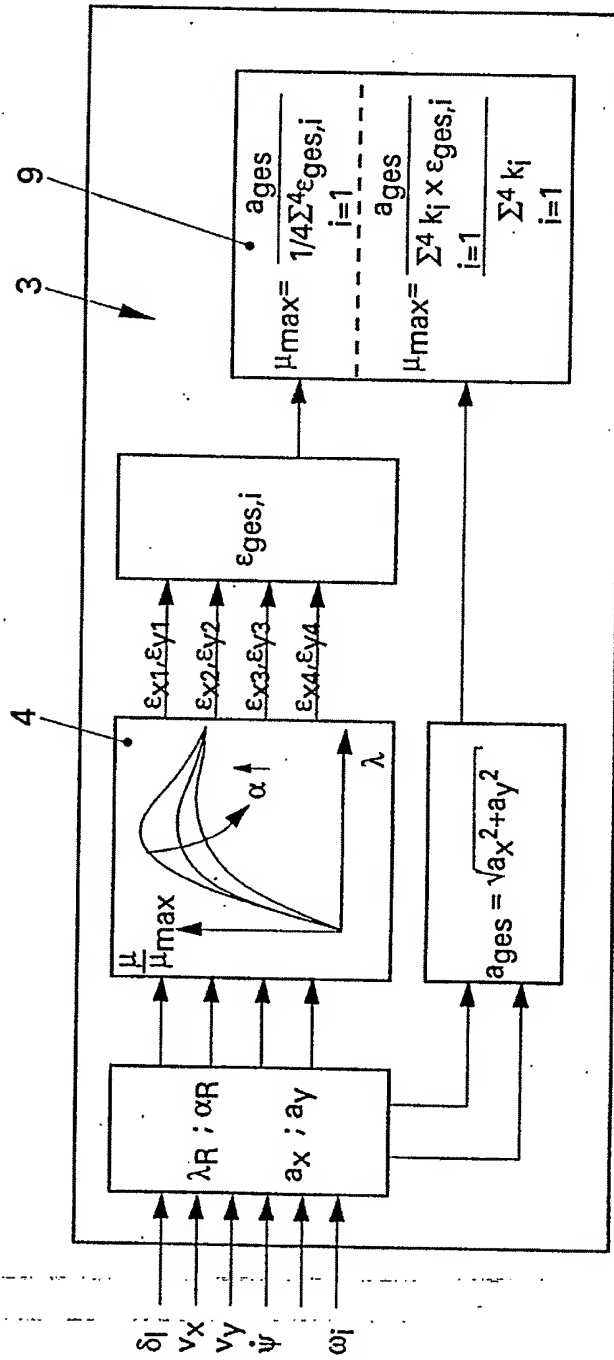


FIG 1

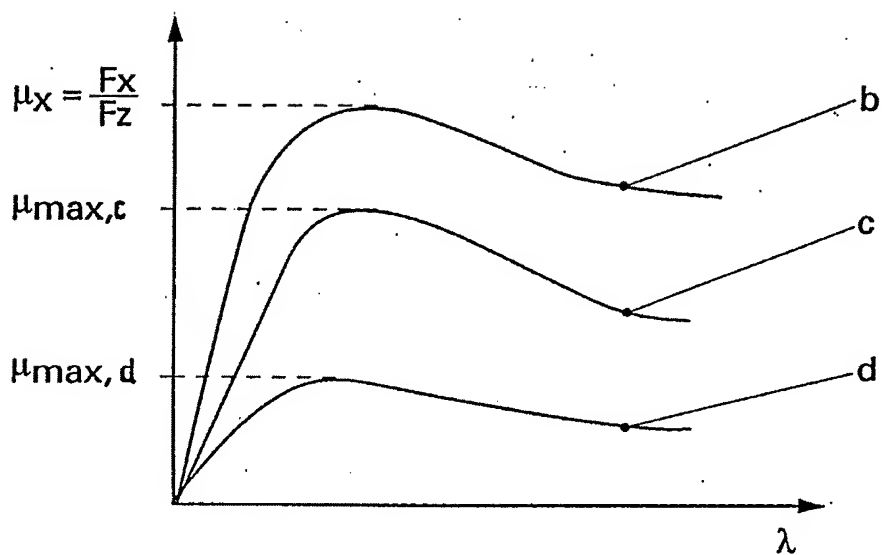


FIG 3

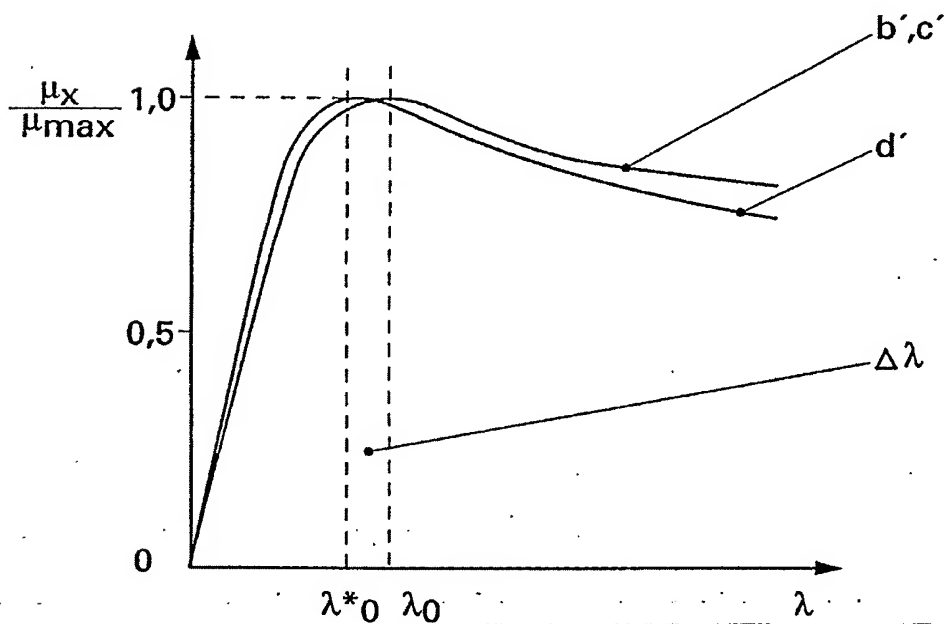


FIG 4